Model econòmic d'encreuament entre cotxe de combustió i cotxe elèctric

Cost d'adquisició, energia, manteniment, amortització per temps i ús, degradació de bateria, finançament, temps de recàrrega i adopció amb retard

Xema Gatnau

Treball original: 29 de maig de 2026 · Modificació metodològica: 8 d'agost de 2026

Modificació d'agost: incorporació de l'amortització per temps i ús, la degradació de bateria, el cost de capital i el valor del temps. Escenari il·lustratiu i parametritzable.

IDEA CENTRAL

• La comparació correcta no és només preu de compra davant de combustible: és el cost econòmic de prestar mobilitat durant un horitzó concret.

• El capital del vehicle es consumeix de dues maneres: per calendari/obsolescència i per ús. En l'EV, la bateria afegeix una dimensió mesurable mitjançant estat de salut (SOH) i cicles complets equivalents (EFC).

• El cost financer del 5 % s'aplica al capital que continua immobilitzat; el valor del temps base és 15 €/h.

• Els gràfics de decisió utilitzen aquests components conjuntament. Les figures que aïllen adquisició o manteniment es mantenen deliberadament com a diagnòstics parcials.

Abstract

Aquest treball proposa un model econòmic integrat per determinar en quines condicions un vehicle elèctric de bateria supera un vehicle de combustió interna en cost de mobilitat. L'enfocament distingeix entre preu d'adquisició, costos operatius, depreciació per calendari i per ús, degradació de bateria mitjançant cicles complets equivalents (EFC) i estat de salut (SOH), cost financer o d'oportunitat del capital, valor residual, temps efectiu de recàrrega o repostatge i riscos extraordinaris. El model expressa el punt d'equilibri tant en anys com en quilòmetres acumulats i intensitat anual d'ús, i permet representar una frontera multidimensional en funció de l'accés a càrrega barata i del valor del temps. Com a extensió de la decisió individual, es formula una relació estilitzada entre avantatge econòmic i quota de noves vendes amb retard. El resultat principal és metodològic: no existeix una única data ni un únic quilometratge universal de paritat; l'encreuament depèn de la combinació de capital immobilitzat, patró d'ús, energia, depreciació, manteniment, degradació tècnica i infraestructura disponible.

Resum executiu

Aquest informe construeix un marc integrat per comparar un vehicle de combustió interna (ICE) amb un vehicle elèctric de bateria (EV). El model distingeix preu d'entrada, cost de l'energia, manteniment, consum econòmic del capital, cost financer, valor residual, degradació tècnica, temps efectiu de repostatge o recàrrega i riscos extraordinaris. A partir d'aquests components calcula encreuaments per anys, per quilòmetres acumulats i per intensitat anual d'ús, i finalment connecta l'avantatge econòmic individual amb una funció estilitzada d'adopció de mercat amb retard.

Amb els paràmetres base utilitzats aquí, l'EV amb càrrega domèstica presenta un llindar econòmic a cinc anys d'aproximadament 17.218 km/any; la càrrega pública lenta l'eleva fins a prop de 99.538 km/any; i la ràpida, amb el preu i el temps suposats, fins a aproximadament 194.001 km/any.

Per a un ús intensiu de 50.000 km/any, la prima inicial de liquiditat de l'EV es recupera en aproximadament 2,0 anys en l'escenari domèstic. El TCO econòmic, que reconeix el valor residual a cada data i el consum de capital, pot afavorir l'EV abans que el payback de caixa. Aquesta diferència no és una contradicció: respon a dues preguntes diferents.

DOS ENCREUAMENTS QUE NO S'HAN DE CONFONDRE
• Payback de caixa: quan els estalvis operatius recuperen el desemborsament inicial addicional. És una mesura de liquiditat.
• Encreuament de TCO econòmic: quan el cost de capital consumit + operació + finançament + temps és menor. Reconeix que el vehicle conserva un valor residual.
• Un actiu pot exigir més caixa en comprar-lo i, tanmateix, consumir menys riquesa econòmica durant el mateix període.

1. Evidència tècnica i criteris de modelització

1.1. Manteniment: avantatges i compensacions

L'EV elimina l'oli de motor, les bugies, els filtres de combustible, l'embragatge i bona part de la complexitat mecànica d'un tren de combustió. El Department of Energy dels Estats Units estima en la seva metodologia 6,1 cèntims/milla de manteniment programat per a un BEV davant de 10,1 per a un ICEV [1]. RACE descriu la mateixa direcció qualitativa i assenyala, a més, un menor desgast dels frens gràcies a la frenada regenerativa [2].

No tots els components afavoreixen l'EV. RACE adverteix que el major pes i el parell immediat poden augmentar el desgast dels pneumàtics en determinats vehicles i estils de conducció [2]. Per això, el model separa manteniment lligat al temps, manteniment/desgast proporcional al quilometratge i esdeveniments discrets. El resultat no es força suposant que «tot el manteniment és menor» en l'elèctric.

1.2. Bateria: calendari, cicles i estat de salut

La bateria envelleix per dos mecanismes que s'han de modelitzar per separat: envelliment de calendari -temps, temperatura i estat de càrrega- i envelliment per cicles -energia total processada, profunditat de descàrrega, potència de càrrega i temperatura-. Per tant, el quilometratge per si sol no determina la salut d'una bateria.

La unitat més útil per a l'ús és el cicle complet equivalent (Equivalent Full Cycle, EFC): descarregar un 30 % avui i un 70 % demà equival aproximadament a un EFC. Amb una bateria útil de 60 kWh i un consum facturat de 17 kWh/100 km, un EFC correspon a uns 353 km. Així, 15.000 km/any representen aproximadament 42,5 EFC/any i 50.000 km/any uns 141,7 EFC/any. Deu mil EFC equivaldrien, sota aquests supòsits, a uns 3,53 milions de quilòmetres: per tant, no s'adopten «10.000 cicles» com a vida típica de referència.

$$EFC = K \times (c_EV / 100) / B$$

Les dades reals tampoc no avalen tractar el 70 % o el 80 % com una substitució automàtica. Geotab, amb més de 22.700 vehicles i 21 models, va informar el 2026 d'una degradació mitjana del 2,3 % anual i d'una projecció mitjana del 81,6 % de SOH després de vuit anys; la càrrega ràpida d'alta potència va ser el factor operatiu més rellevant, amb taxes properes al 3,0 % anual davant de l'1,5 % en el grup de menor potència [3]. Tesla Espanya garanteix, segons versió, un mínim del 70 % de conservació de capacitat durant 8 anys i 160.000-240.000 km [4]. Euro 7 fixa per als turismes elèctrics M1 requisits mínims d'energia de bateria del 80 % fins a 5 anys/100.000 km i del 72 % fins a 8 anys/160.000 km [5]. Aquests llindars són requisits de durabilitat o garantia, no ordres de reemplaçament.

La literatura sobre cel·les mostra una dispersió molt àmplia segons la química i les condicions. Un estudi de LFP utilitzat com a referència de cicle de vida situa almenys 2.000-2.500 cicles fins al 80 % de capacitat en determinades aplicacions [6], mentre que altres assajos de cel·les ofereixen xifres superiors. Per això el model utilitza 2.500 EFC fins al 80 % únicament com a calibratge base parametritzable, no com una constant física universal.

2. Variables i equacions del model

2.1. Tres nivells de cost

El model distingeix: (i) preu d'adquisició i necessitat de liquiditat; (ii) TCO monetari/econòmic; i (iii) cost generalitzat, que monetitza el temps efectiu. Aquesta separació evita barrejar un desemborsament amb el consum econòmic d'un actiu.

$$G_i(t,K) = D_i(t,K) + F_i(t,K) + E_i(K) + M_i(t,K) + C_i^{fix}(t) + w \cdot T_i(K) + E[X_i]$$

D és la depreciació o amortització econòmica consumida; F és el cost financer/d'oportunitat; E, energia; M, manteniment; C^fix, assegurances, impostos i costos anuals; w·T monetitza el temps efectiu; E[X] recull reparacions o reposicions extraordinàries esperades. El preu de compra es reflecteix en D i F i no es torna a sumar al TCO econòmic per evitar una doble comptabilització.

2.2. Amortització fixa i amortització per ús

La intuïció plantejada -una part anual fixa i una altra associada a l'ús- es formalitza mitjançant el valor econòmic residual. Per a l'ICE s'utilitza una taxa de depreciació per calendari/obsolescència i una altra per quilometratge. Per a l'EV s'aplica la mateixa estructura al vehicle i s'hi afegeix l'efecte de la pèrdua de SOH de la bateria.

$$V_{ICE}(t,K) = P_{ICE} \cdot \exp[-\alpha_{ICE} \cdot t - \beta_{ICE} \cdot K]$$

$$V_{EV}(t,K) = P_{EV} \cdot \exp[-\alpha_{EV} \cdot t - \beta_{EV} \cdot K - \varphi_B \cdot (1 - SOH)]$$

$$D_i(t,K) = P_i - V_i(t,K)$$

α recull la depreciació associada a l'edat, l'obsolescència i factors no directament quilomètrics; β recull la pèrdua de valor associada a l'ús. En l'EV, α i β descriuen el vehicle excloent la pèrdua de valor atribuïble específicament al SOH de la bateria, que entra per separat mitjançant φ_B; així s'evita comptar dues vegades l'envelliment de la bateria. En l'ICE, β engloba el desgast del motor, la transmissió i el conjunt del vehicle. No existeix un «nombre de cicles de motor» estandarditzat comparable a l'EFC d'una bateria: el desgast depèn de quilòmetres, hores de motor, arrencades tèrmiques, càrrega i manteniment. Per això es parametritza per quilometratge i es calibra amb valor residual, no mitjançant una vida mecànica universal inventada.

2.3. Degradació de bateria per calendari i cicles

$$SOH(t,K) = 1 - d_{cal} \cdot t - [0{,}20 / N_{80}] \cdot EFC(K) \cdot s_{càrrega}$$

d_cal representa la pèrdua anual de calendari; N_80, els EFC de referència fins a una pèrdua del 20 %; i s_càrrega, un multiplicador pel patró de càrrega. En l'escenari base s'utilitza d_cal = 1 %/any, N_80 = 2.500 EFC i un multiplicador 1,70 per a ús freqüent de càrrega ràpida d'alta potència. És un calibratge pedagògic escollit per aproximar ordres de magnitud observats en dades reals, no una predicció per model de cotxe.

REGLA DE DOBLE COMPTABILITZACIÓ
• La pèrdua de SOH redueix el valor residual de l'EV dins de D_EV; no s'ha d'afegir també com si cada punt de SOH fos un pagament en efectiu.
• Una bateria nova només s'afegeix com a cost extraordinari si hi ha una probabilitat rellevant de substitució dins de l'horitzó. Si se substitueix, també s'ha d'augmentar el valor residual que aporta la bateria nova.
• La mateixa lògica s'aplica a l'ICE: motor, caixa de canvis, turbo o sistemes anticontaminació són riscos extraordinaris, no manteniment marginal segur cada quilòmetre.

2.4. Cost financer o d'oportunitat

El cost d'oportunitat base és del 5 % anual. S'aplica al valor econòmic del capital que continua immobilitzat, no com un recàrrec arbitrari del 5 % sobre cada despesa.

$$F_i(t) = r \cdot \int_0^t V_i(s)\, ds$$

Aquesta formulació equival a exigir cada any un rendiment sobre el capital que encara està vinculat al vehicle. L'EV més car suporta inicialment un cost financer més alt, però aquesta diferència disminueix a mesura que l'actiu es deprecia. En un finançament real, r es pot substituir pel cost efectiu del préstec o per un cost d'oportunitat ajustat al perfil del comprador.

2.5. Cost del temps

El valor del temps base es fixa en 15 €/h. Només es monetitza temps efectiu no solapat: desviament, espera, connexió, desconnexió o permanència obligatòria. Una càrrega nocturna mentre es dorm no equival a vuit hores perdudes. La comparació és simètrica: l'ICE també exigeix desviament i repostatge.

3. Escenari base il·lustratiu

Paràmetre	Valor
Preu ICE	28.000 €
Preu EV	34.000 €
Carregador i instal·lació	1.600 €
Ajut	0 €
Combustió	6,5 l/100 km a 1,55 €/l
EV	17 kWh/100 km
Càrrega domèstica	0,16 €/kWh

Pública lenta	0,35 €/kWh
Pública ràpida	0,55 €/kWh
Valor del temps	15 €/h
Cost de capital	5 % anual
Bateria útil de referència	60 kWh
N80 de calibratge	2.500 EFC fins al 80 %
Envelliment de calendari de la bateria	1 % SOH/any
Depreciació de calendari ICE	α = 0,12/any (escenari)
Depreciació de calendari EV, neta de SOH	α = 0,15/any (escenari)
Depreciació per ús ICE	$\beta = 4\times10^{-7}$/km (escenari)
Depreciació per ús EV, sense bateria	$\beta = 2{,}5\times10^{-7}$/km (escenari)
Sensibilitat residual al SOH	$\varphi_B = 0{,}50$ (escenari)
Manteniment fix	ICE 320 €/any; EV 220 €/any
Manteniment variable mitjà	ICE 0,032 €/km; EV 0,024 €/km
Altres costos fixos	ICE 1.000 €/any; EV 1.070 €/any

COM LLEGIR ELS PARÀMETRES D'AMORTITZACIÓ

• α, β i φ_B no es presenten com a mitjanes oficials espanyoles. Són paràmetres transparents perquè el model es pugui recalibrar amb dades de valor residual del model concret.

• S'adopta una depreciació temporal una mica més alta per a l'EV en l'escenari base per reflectir el risc actual d'obsolescència i la menor retenció observada en alguns mercats; l'IEA assenyala que la retenció BEV en cinc grans mercats europeus va caure cap al 35 % el 2025, tot i que aquestes dades no estan corregides per edat mitjana i no s'han de traslladar mecànicament a un cotxe concret [7].

• L'avantatge del model és precisament que el resultat es pot recalcular sense canviar-ne l'estructura.

4. Preu d'entrada i trajectòria d'adquisició

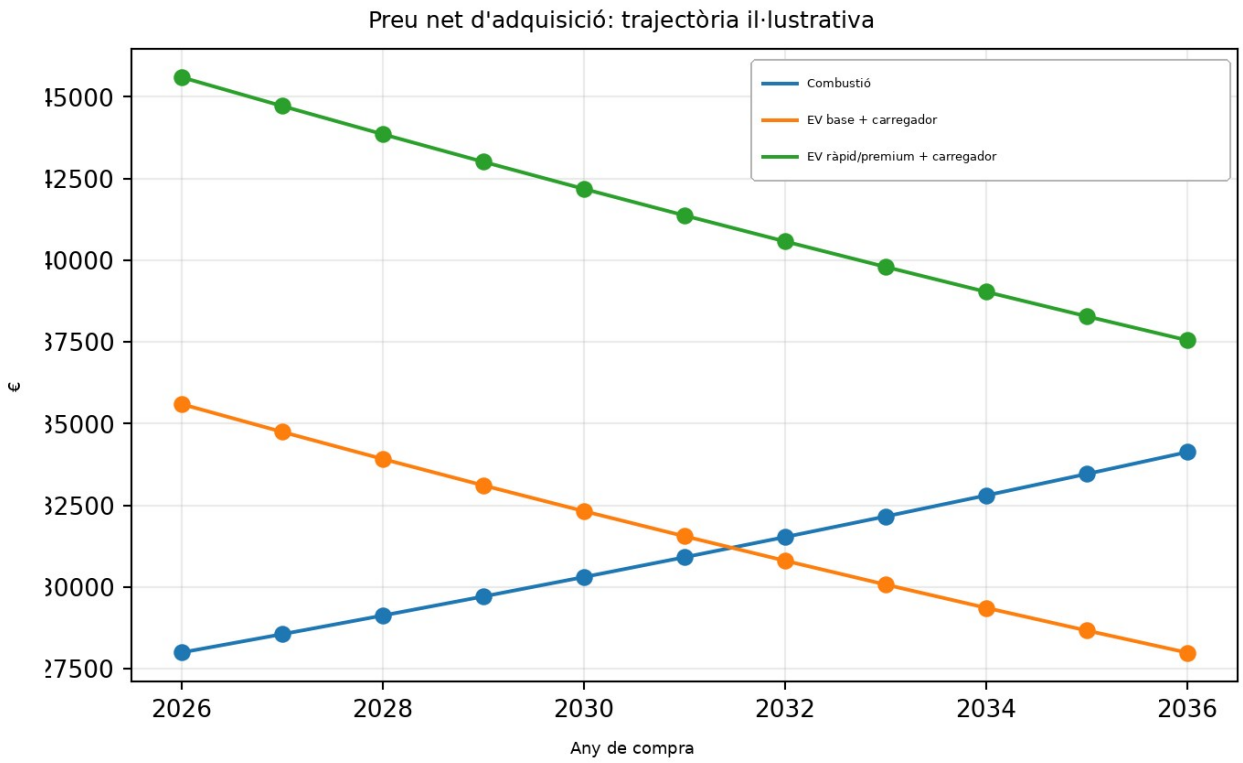

Figura 1. Trajectòria il·lustrativa del preu d'entrada.

LECTURA RÀPIDA
• Aquest gràfic aïlla deliberadament l'adquisició. És l'únic que no pretén ser un TCO: serveix per veure la prima de capital que després genera depreciació i cost financer.
• L'encreuament de preus no és necessari perquè l'EV sigui econòmicament preferible; el TCO pot creuar abans.
• Les trajectòries són escenaris, no previsions de preus.

5. Cost econòmic acumulat amb 50.000 km/any

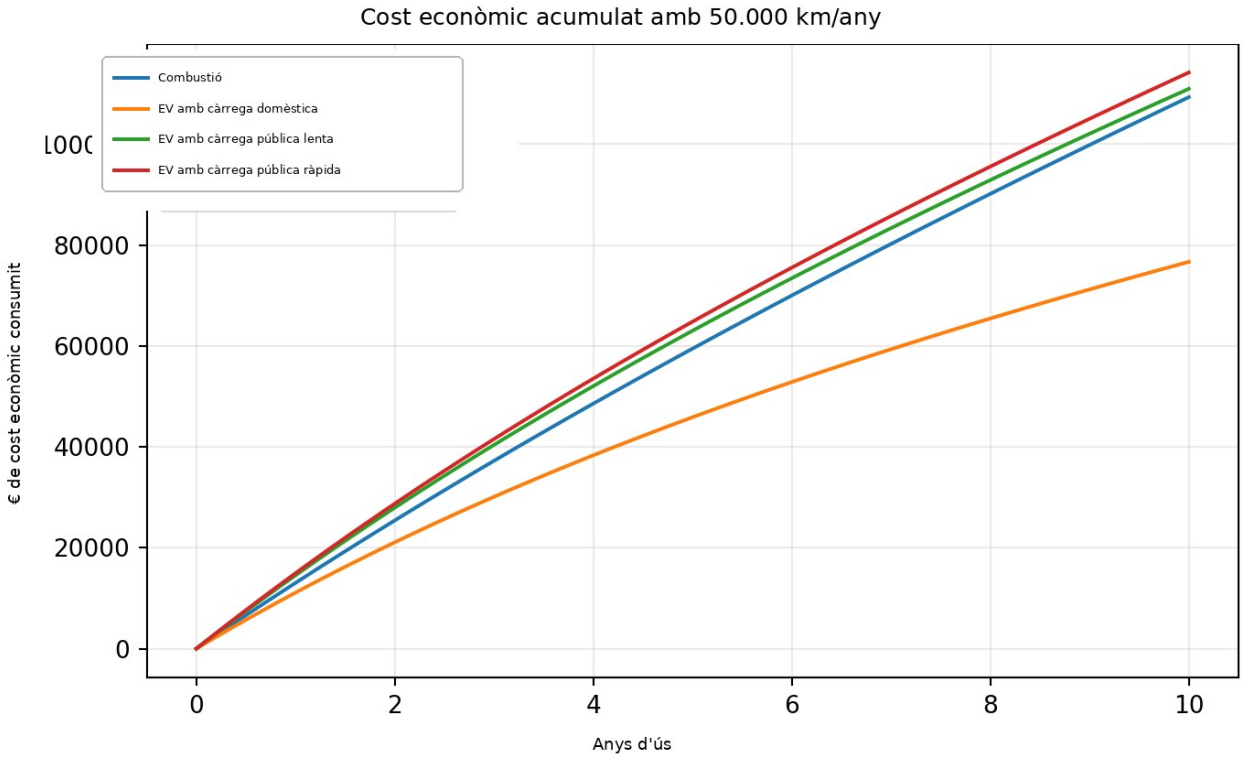

Figura 2. Cost econòmic consumit, incloent-hi amortització, finançament i temps.

LECTURA RÀPIDA

• Les corbes ja no sumen simplement el preu sencer com si desaparegués en comprar: comptabilitzen la part de capital consumida mitjançant depreciació i el cost financer del capital restant.

• Amb càrrega domèstica, l'EV presenta un cost econòmic menor des del primer any en l'ús intensiu de l'exemple; tanmateix, el payback de caixa de la prima inicial es produeix prop dels 2,0 anys.

• Amb càrrega pública ràpida o lenta, els preus i temps suposats poden mantenir l'ICE per sota durant tot l'horitzó mostrat.

6. Quilòmetres anuals d'equilibri

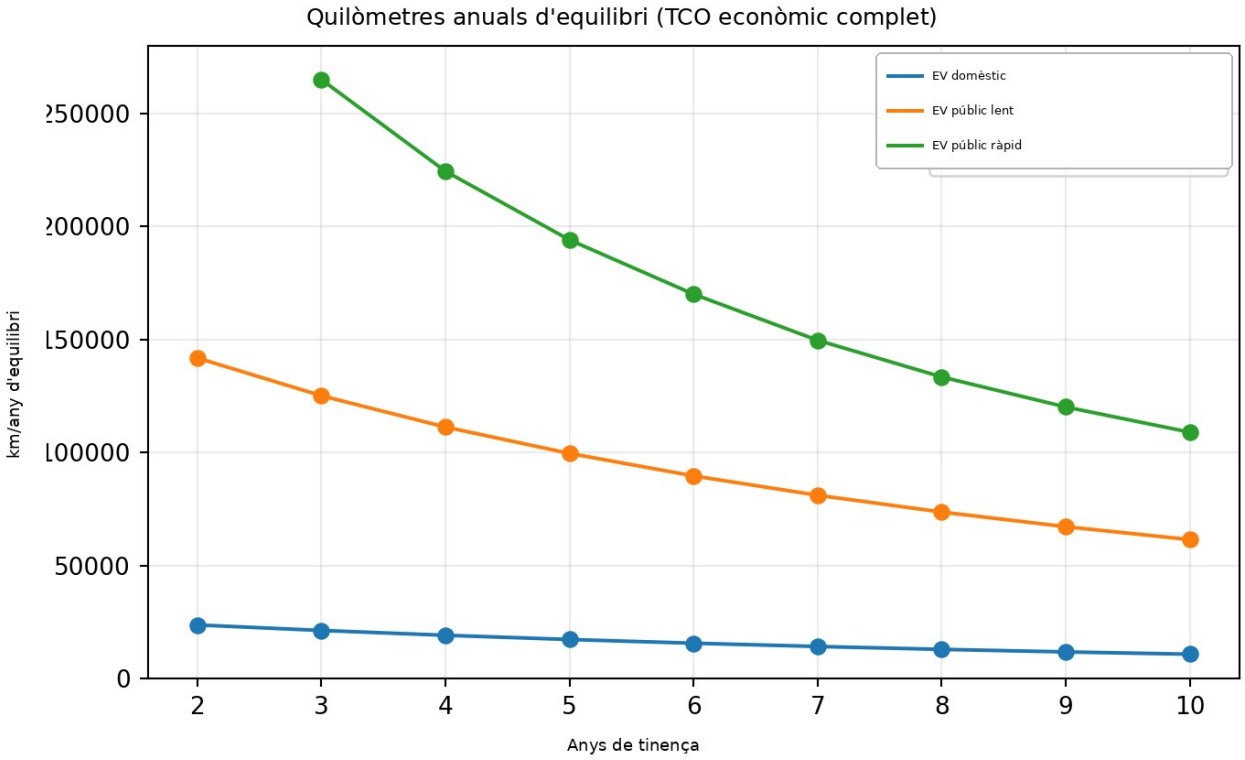

Figura 3. Intensitat anual necessària perquè el TCO econòmic de l'EV iguali el de l'ICE.

LECTURA RÀPIDA
• A cinc anys, el llindar domèstic base és d'aproximadament 17.200 km/any.
• El llindar baixa quan s'amplia l'horitzó perquè es repeteixen més vegades els estalvis d'energia i manteniment i es dilueixen els costos de capital.
• La càrrega pública cara desplaça fortament la frontera, encara que l'EV tingui menys manteniment mecànic.

7. Valor del temps de recàrrega i repostatge

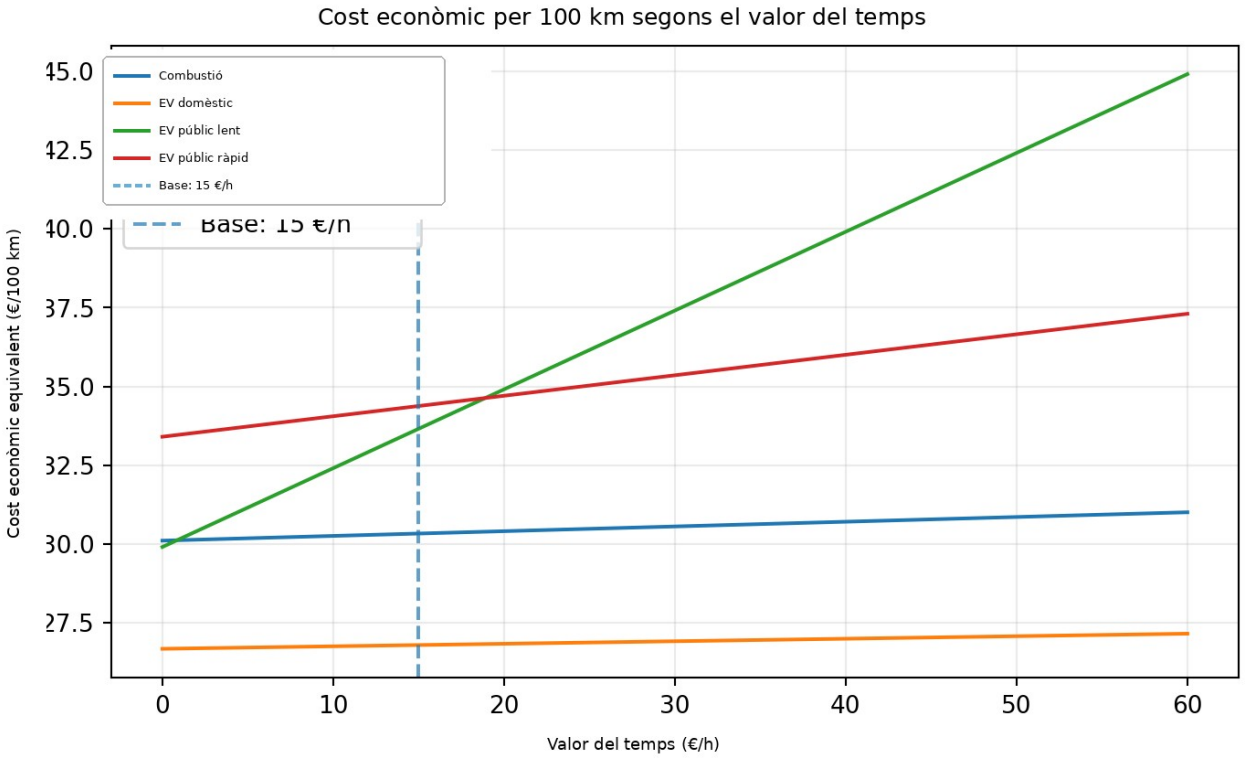

Figura 4. Cost econòmic equivalent per 100 km en variar el valor de l'hora.

LECTURA RÀPIDA
• L'eix X és el valor econòmic d'una hora, no la durada bruta de la recàrrega.
• La línia vertical marca l'escenari base de 15 €/h.
• El gràfic incorpora energia, manteniment, amortització i finançament a cinc anys i 30.000 km/any; per això mostra cost total equivalent, no només cost variable.

8. Avantatge econòmic i quota de mercat amb retard

L'adopció no reacciona instantàniament a una millora del TCO. Hi intervenen la percepció, el finançament, l'oferta, la xarxa de càrrega, els cicles de substitució i l'aversió tecnològica. La variable econòmica que alimenta el model d'adopció és el TCO complet, incloent-hi amortització i cost financer.

$$\text{Quota_EV,nova}(t) = 1 / [1 + \exp(-(a + b \cdot A_EV(t-L) + \gamma Z(t)))]$$

$$A_EV = (G_ICE - G_EV) / G_ICE$$

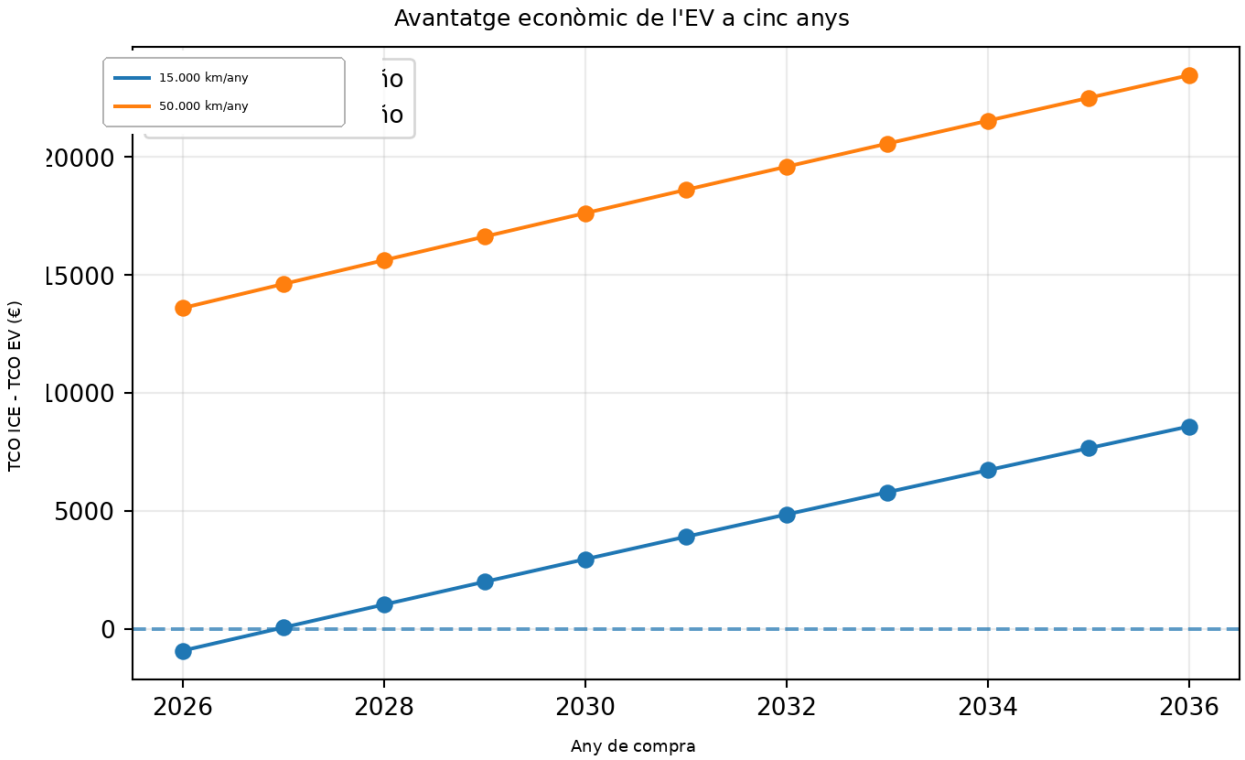

Figura 5. Avantatge econòmic de l'EV a cinc anys segons l'any de compra.

LECTURA RÀPIDA

• Per sobre de zero, l'EV té un TCO econòmic menor.

• En l'escenari de 15.000 km/any, l'encreuament apareix aproximadament entre 2026 i 2027 per l'evolució il·lustrativa dels preus; a 50.000 km/any ja hi ha avantatge EV el 2026.

• El cost financer i la depreciació estan inclosos en cada horitzó de cinc anys.

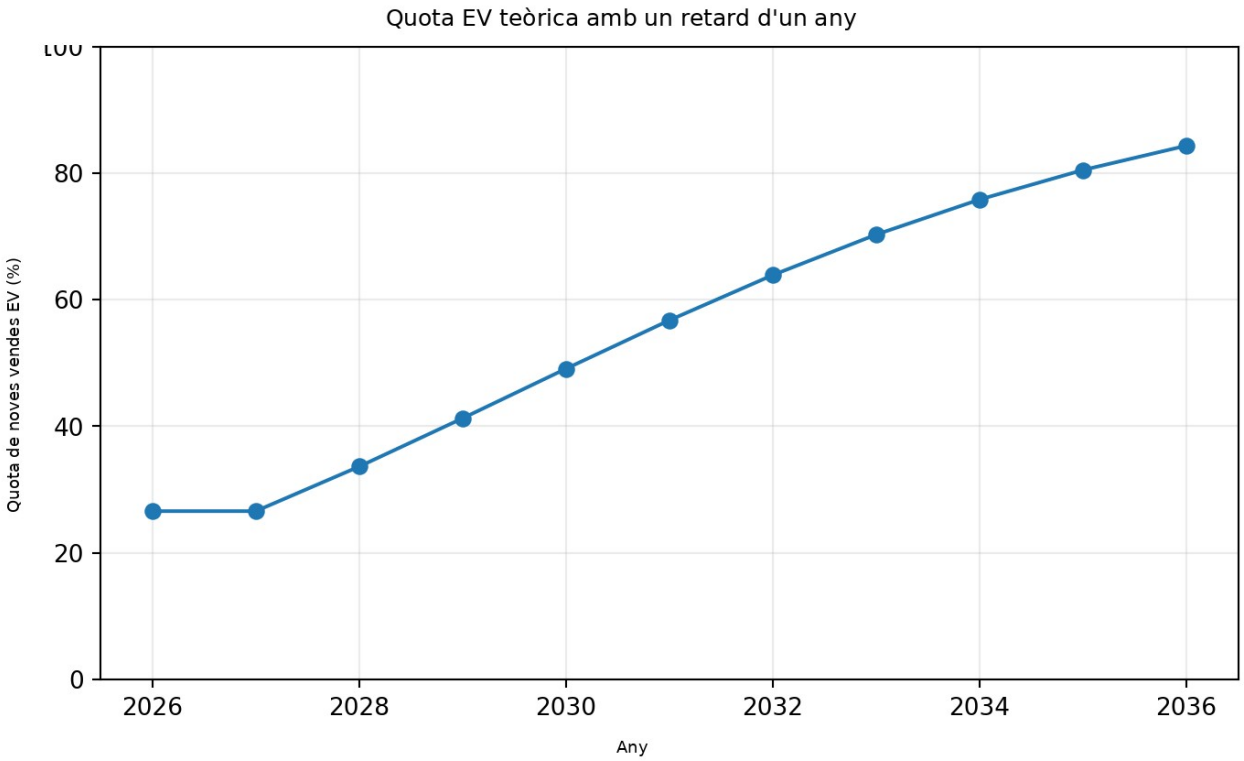

Figura 6. Quota EV teòrica amb un any de retard respecte de l'avantatge econòmic.

LECTURA RÀPIDA
• És una demostració del mecanisme, no una previsió economètrica.
• La quota de noves vendes respon abans que la quota del parc total.
• Un calibratge empíric hauria d'estimar a, b, L i les variables Z amb dades reals.

9. Manteniment: estructura temporal, per ús i per esdeveniments

Aquestes dues figures aïllen intencionadament el manteniment per poder-lo interpretar. L'amortització i el finançament no es dibuixen dins d'una figura titulada «manteniment», però es reincorporen en tots els gràfics de TCO i equilibri.

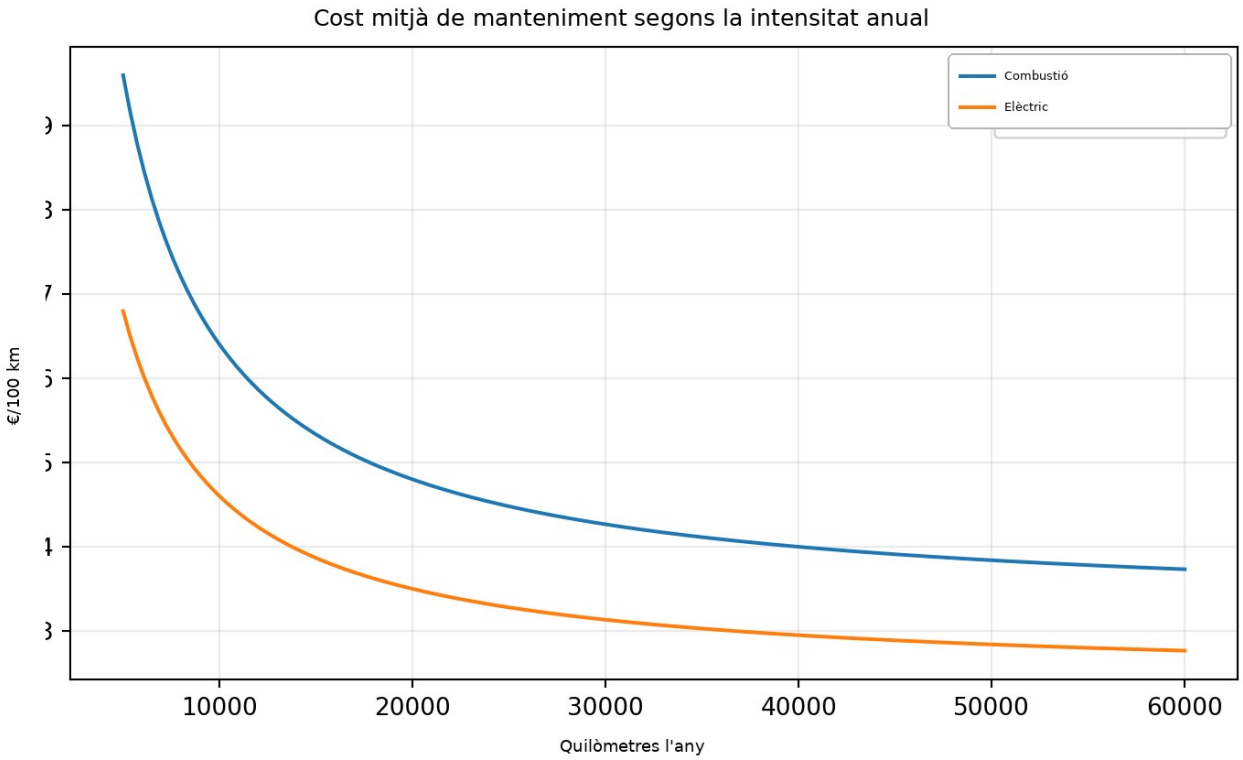

Figura 7. Cost mitjà de manteniment per 100 km segons els quilòmetres anuals.

LECTURA RÀPIDA
• El cost mitjà cau amb l'ús perquè el component anual es reparteix entre més quilòmetres.
• El cost marginal per km no desapareix; per això les corbes convergeixen cap a un sòl.
• Les xifres són d'escenari i s'han de substituir pels plans de manteniment, pneumàtics i experiència de flota del vehicle concret.

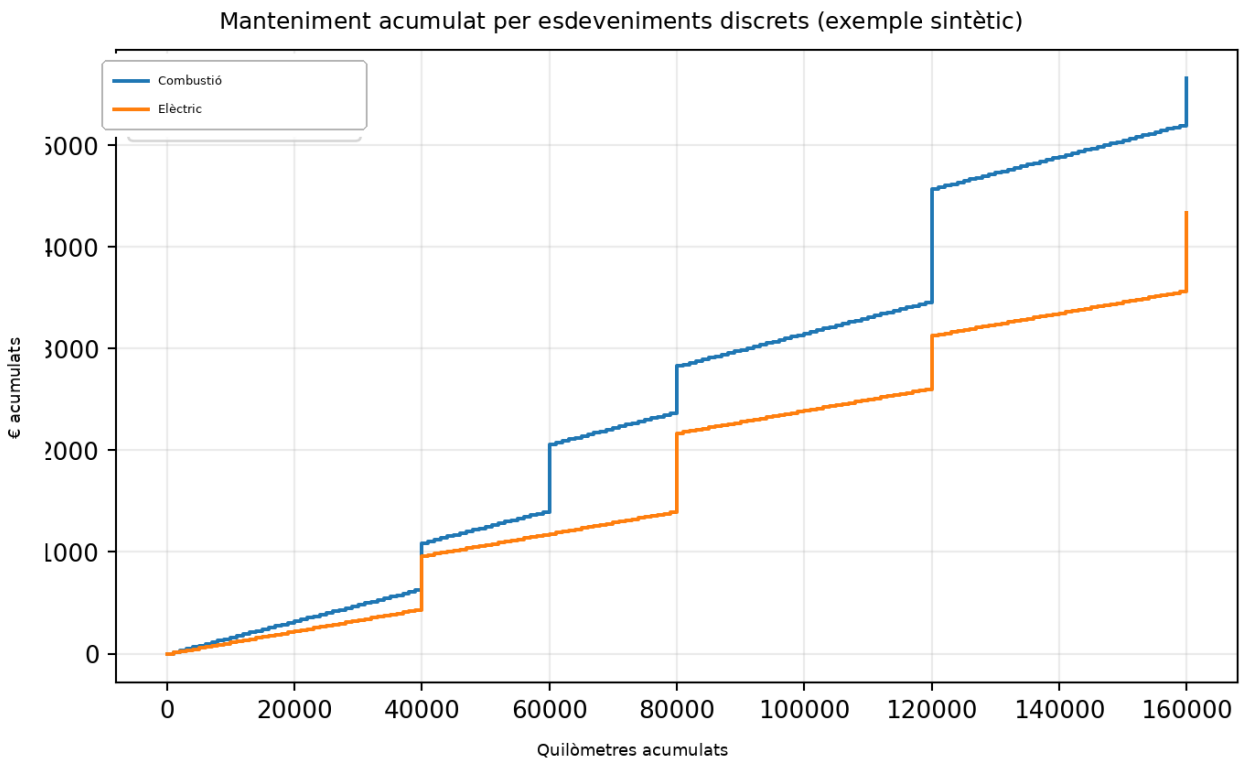

Figura 8. Exemple sintètic de pagaments de manteniment per esdeveniments discrets.

LECTURA RÀPIDA
• L'experiència de caixa real és esglaonada: revisions i pneumàtics es paguen en moments concrets.
• Una recta €/km és una aproximació de llarg termini, no una descripció literal de cada quilòmetre.
• Els esglaons mostrats són pedagògics i no corresponen al calendari de cap fabricant.

10. Punt d'equilibri en quilòmetres acumulats

El mateix model es pot expressar per distància. Si A és el quilometratge anual, t = K/A. Això fa visible que 100.000 km recorreguts en dos anys no equivalen econòmicament a 100.000 km recorreguts en deu: canvien l'envelliment de calendari, els costos fixos, el finançament i la degradació de bateria.

$$t = K / A$$

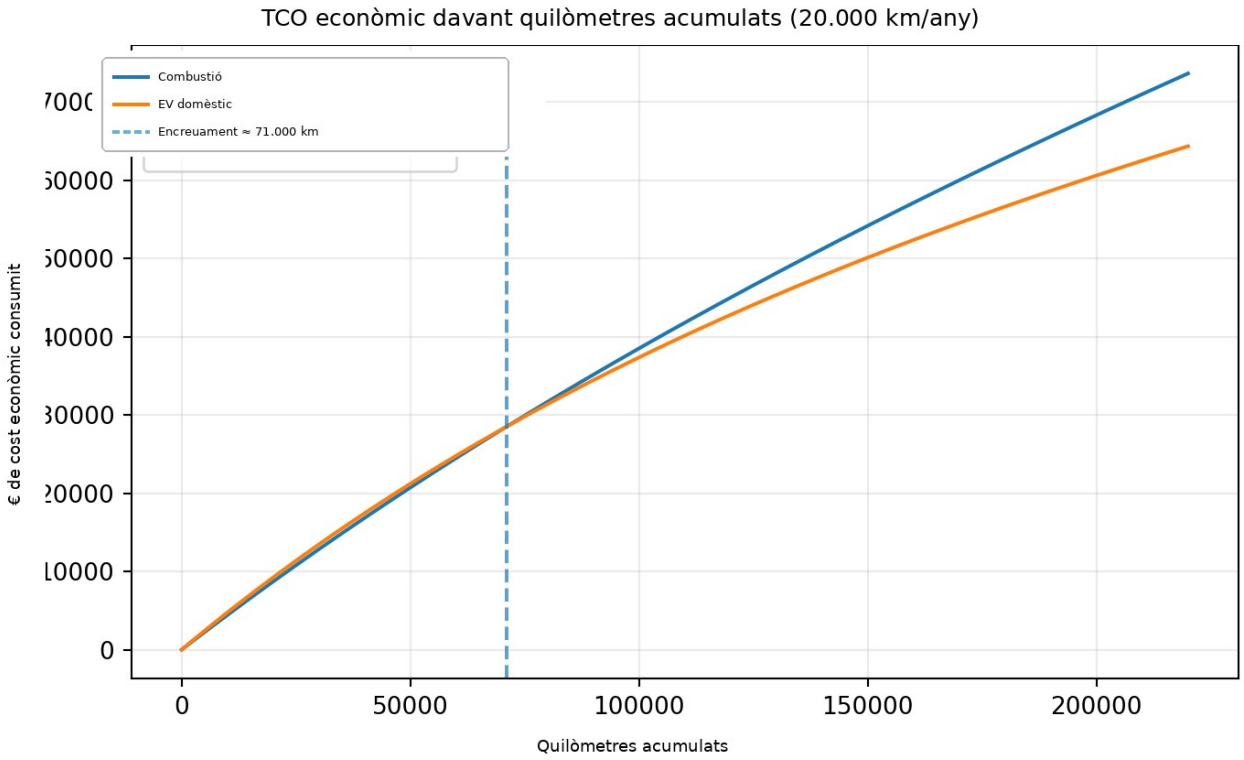

Figura 9. TCO econòmic davant dels quilòmetres acumulats amb 20.000 km/any.

LECTURA RÀPIDA
• L'encreuament de l'exemple se situa al voltant de 71.000 km.
• L'eix incorpora simultàniament energia, manteniment, depreciació per edat i ús, SOH de bateria, finançament i temps.
• Un canvi en km/any modifica aquesta corba perquè canvia quant temps de calendari transcorre per arribar al mateix odòmetre.

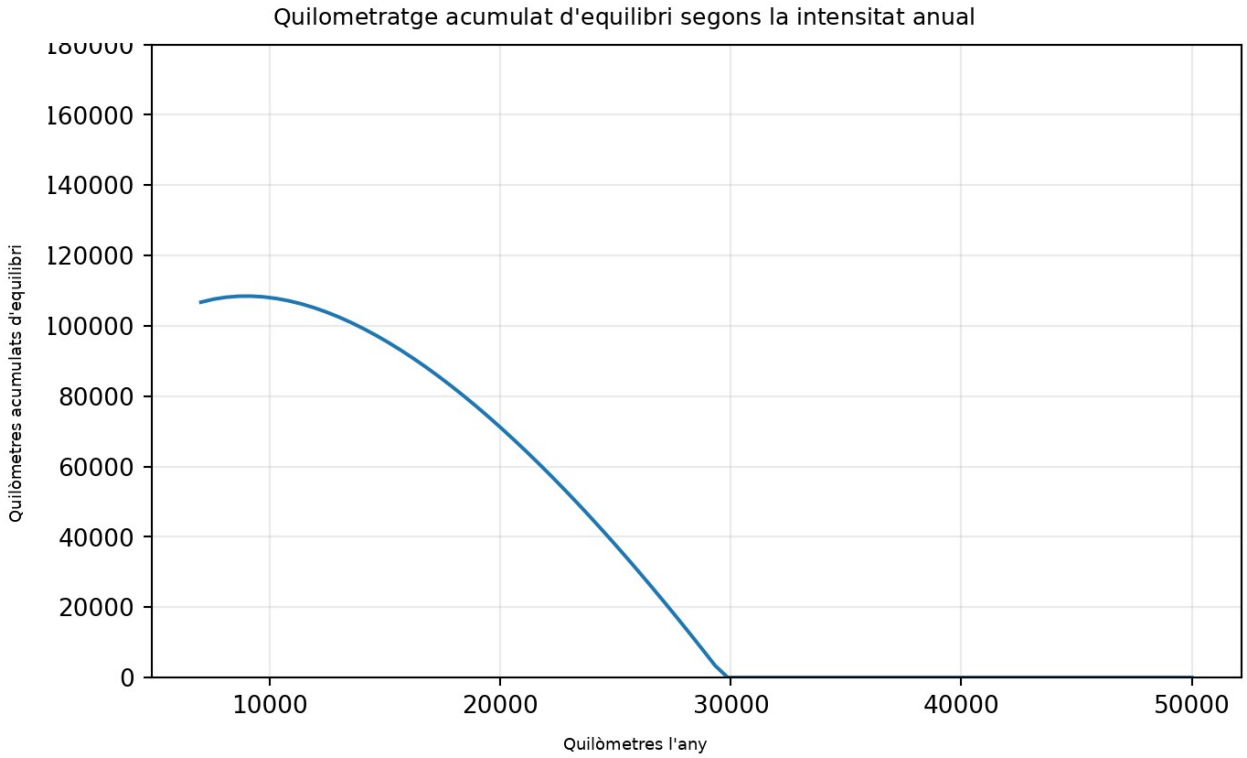

Figura 10. Quilòmetres acumulats d'equilibri segons la intensitat anual.

LECTURA RÀPIDA
• No existeix un únic quilometratge màgic d'amortització.
• A baixa intensitat, el mateix quilometratge triga més anys a assolir-se i acumula més depreciació temporal i costos fixos.
• A intensitats altes, l'EV pot presentar avantatge econòmic pràcticament des de l'inici del servei encara que continuï exigint més liquiditat en comprar-lo.

11. Frontera multidimensional de substitució

La decisió es pot veure com una frontera en un espai de característiques de l'usuari. L'accés a càrrega barata, el quilometratge, el valor del temps, el cost del capital i la depreciació són variables simultànies, no explicacions alternatives.

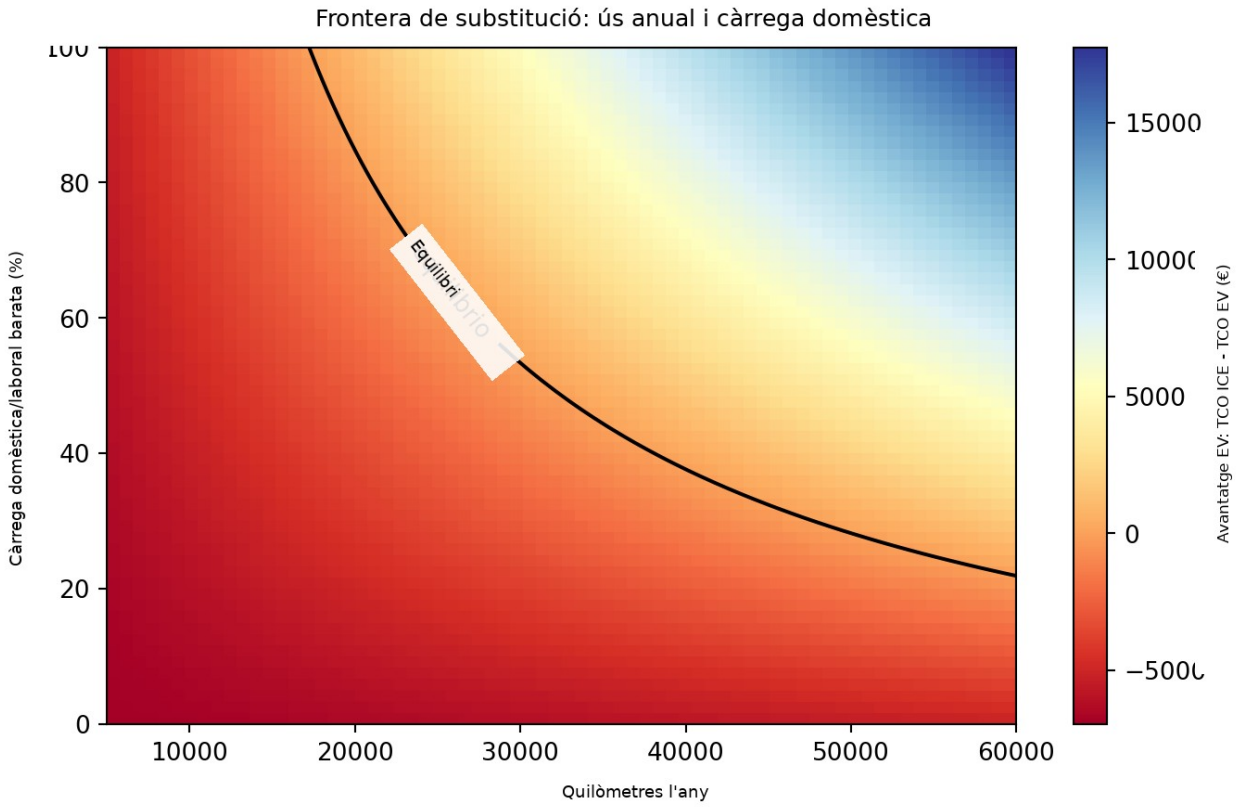

Figura 11. Avantatge EV a cinc anys segons km/any i percentatge de càrrega domèstica/laboral barata.

LECTURA RÀPIDA
• La línia negra separa les combinacions on cada tecnologia té un TCO menor.
• Més quilometratge i més càrrega barata tendeixen a desplaçar la decisió cap a l'EV.
• El percentatge de càrrega pública també afecta la degradació de bateria en el model quan s'associa a alta potència.

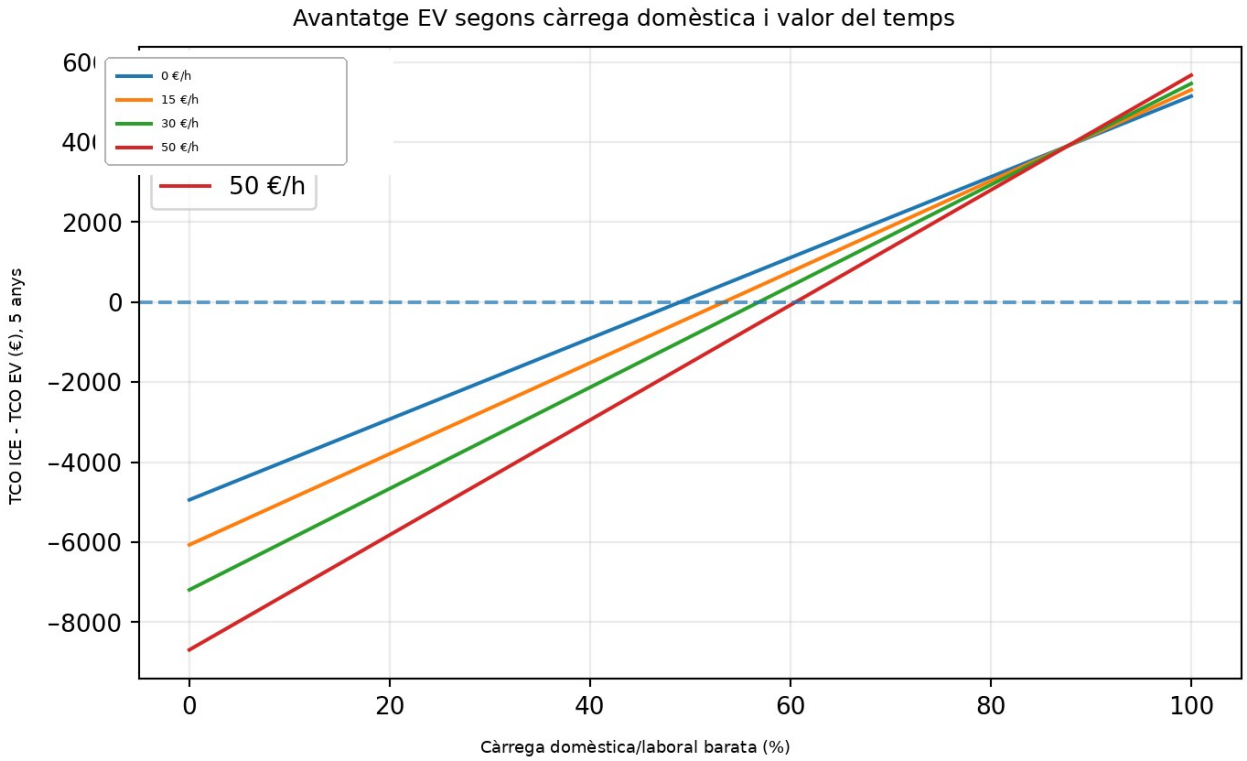

Figura 12. Avantatge EV a 30.000 km/any segons càrrega domèstica i valor del temps.

LECTURA RÀPIDA

• L'escenari base és 15 €/h.

• Quan la recàrrega se solapa amb descans o treball, el cost temporal efectiu cau i l'EV millora.

• Un valor alt del temps penalitza especialment perfils dependents de càrrega pública amb permanència obligatòria.

12. Cost de capital, valor residual i riscos extraordinaris

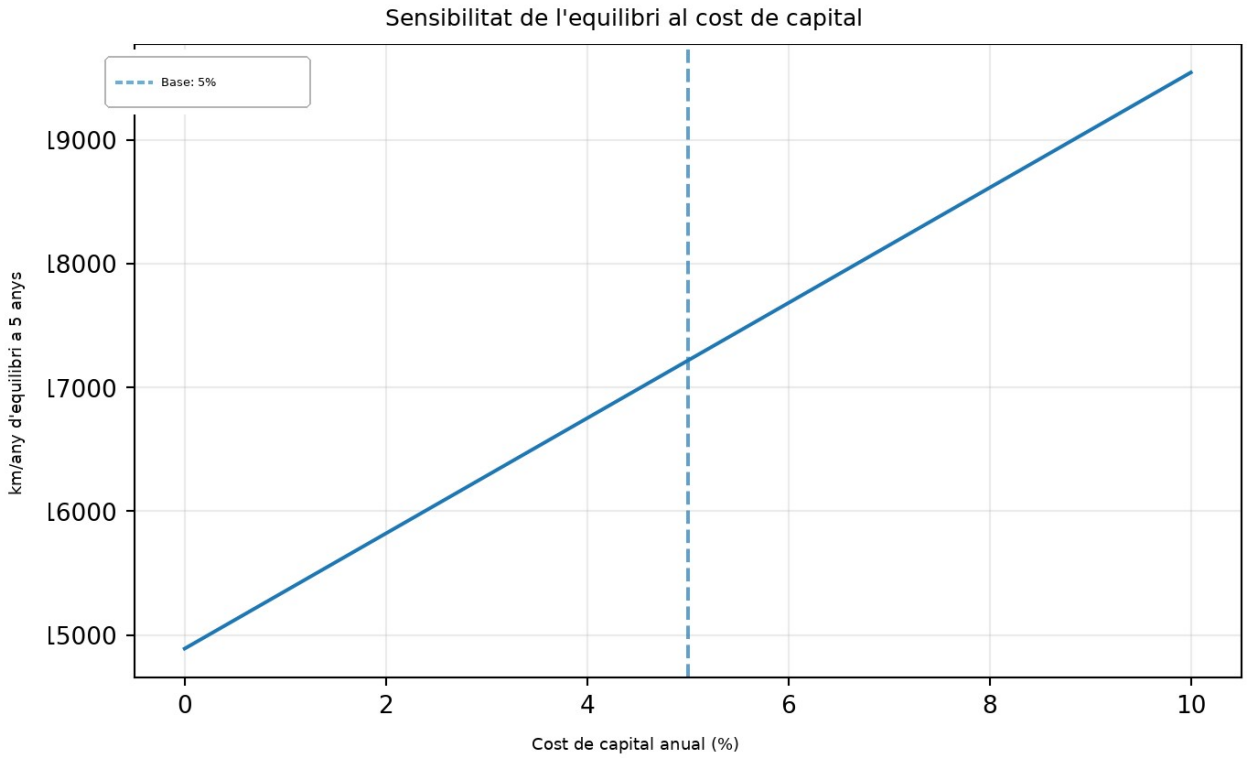

Figura 13. Efecte del cost de capital sobre el llindar a cinc anys.

LECTURA RÀPIDA

• Amb r = 0 %, el llindar domèstic és d'aproximadament 14.900 km/any; al 5 % puja a uns 17.200 km/any i al 10 % a uns 19.500 km/any.

• El preu inicial més alt de l'EV fa que el cost d'oportunitat sigui rellevant fins i tot quan l'energia és barata.

• No s'ha d'aplicar alhora una taxa de descompte i un altre 5 % sobre els mateixos fluxos si representen el mateix cost financer.

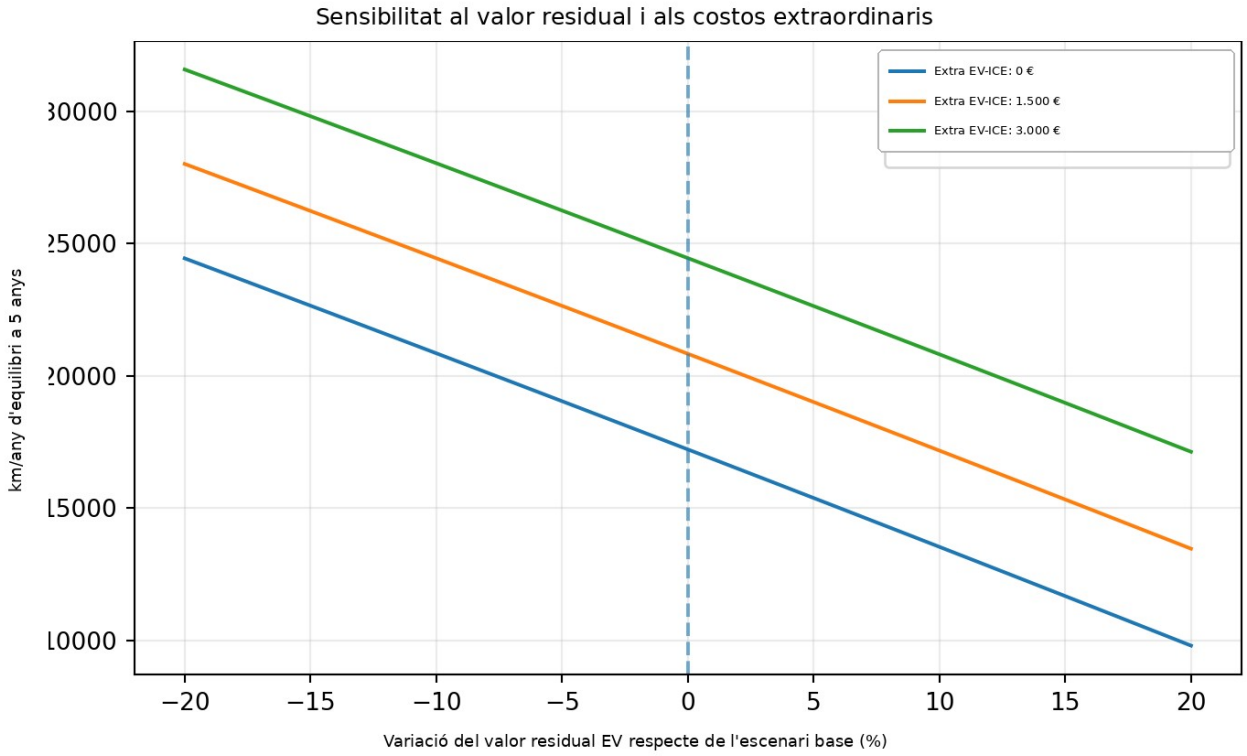

Figura 14. Sensibilitat al valor residual i als costos extraordinaris nets EV-ICE.

LECTURA RÀPIDA
• Un valor residual EV menor augmenta el quilometratge necessari per compensar; un de més alt el redueix.
• El cost extraordinari és diferencial: bateria/reparacions EV menys motor/transmissió/altres reparacions ICE.
• No es pressuposa la substitució de bateria al 70-80 % de SOH; la reposició només entra si és probabilísticament rellevant dins de l'horitzó.

13. Amortització específica per cicles de bateria

La bateria permet representar explícitament la part d'amortització per ús. El mateix quilometratge pot implicar una salut diferent segons els anys transcorreguts i la potència de càrrega. La figura següent utilitza els paràmetres base; no pretén descriure tots els paquets de bateria.

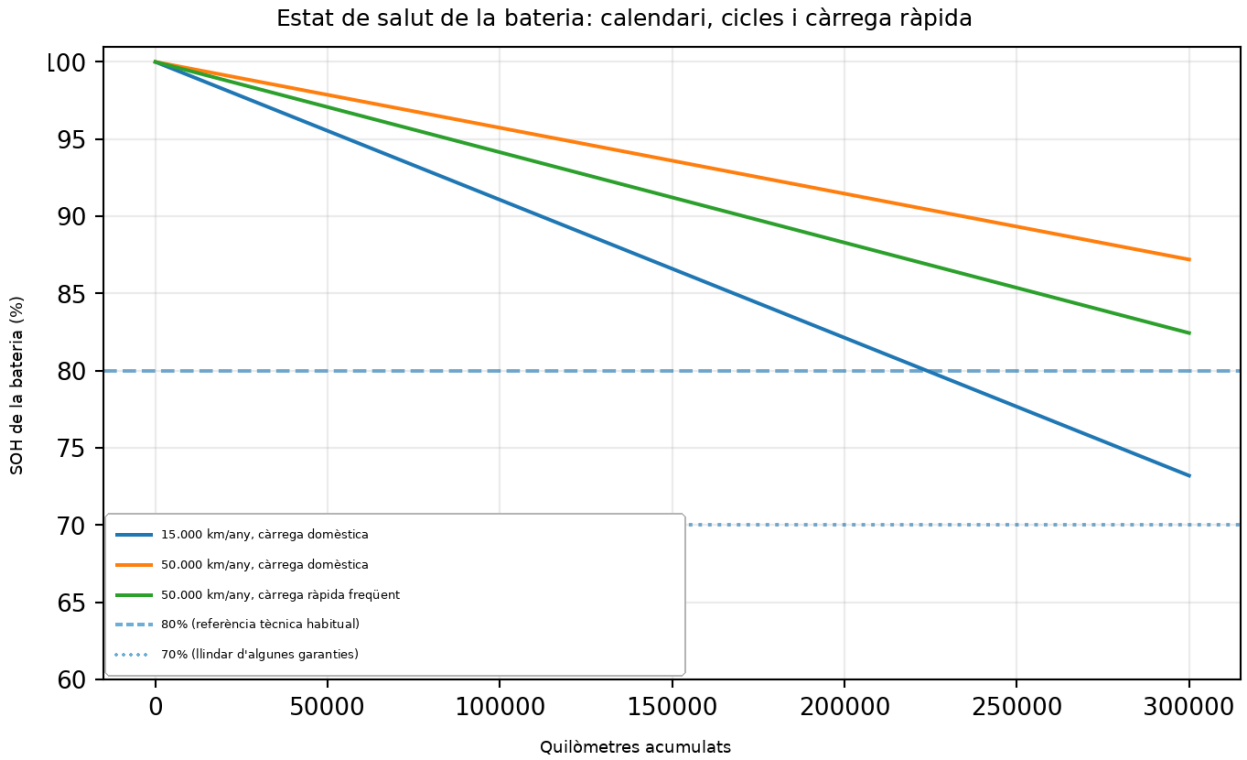

Figura 15. SOH de bateria davant dels quilòmetres acumulats per a diferents intensitats i tipus de càrrega.

LECTURA RÀPIDA

• A igualtat de quilòmetres, recórrer-los lentament durant molts anys pot generar més envelliment de calendari.

• A igualtat d'anys i quilòmetres, la càrrega ràpida freqüent eleva el component de degradació per cicles en l'escenari.

• El 80 % i el 70 % són referències útils, però no equivalen a «bateria morta». Euro 7 i les garanties de fabricant confirmen que la durabilitat s'expressa com a capacitat restant, no com a obligació automàtica de reemplaçament.

ORDRE DE MAGNITUD DELS CICLES

• 15.000 km/any ≈ 42,5 EFC/any amb 60 kWh i 17 kWh/100 km.

• 50.000 km/any ≈ 141,7 EFC/any.

• En vuit anys a 50.000 km/any, el model base domèstic dona ≈ 82,9 % SOH; amb càrrega ràpida freqüent ≈ 76,6 %.

• 10.000 EFC representarien ≈ 3,53 milions de km; per això no s'utilitzen com a vida base d'un turisme.

14. Cost de capital per quilòmetre: per què l'ús intensiu canvia la decisió

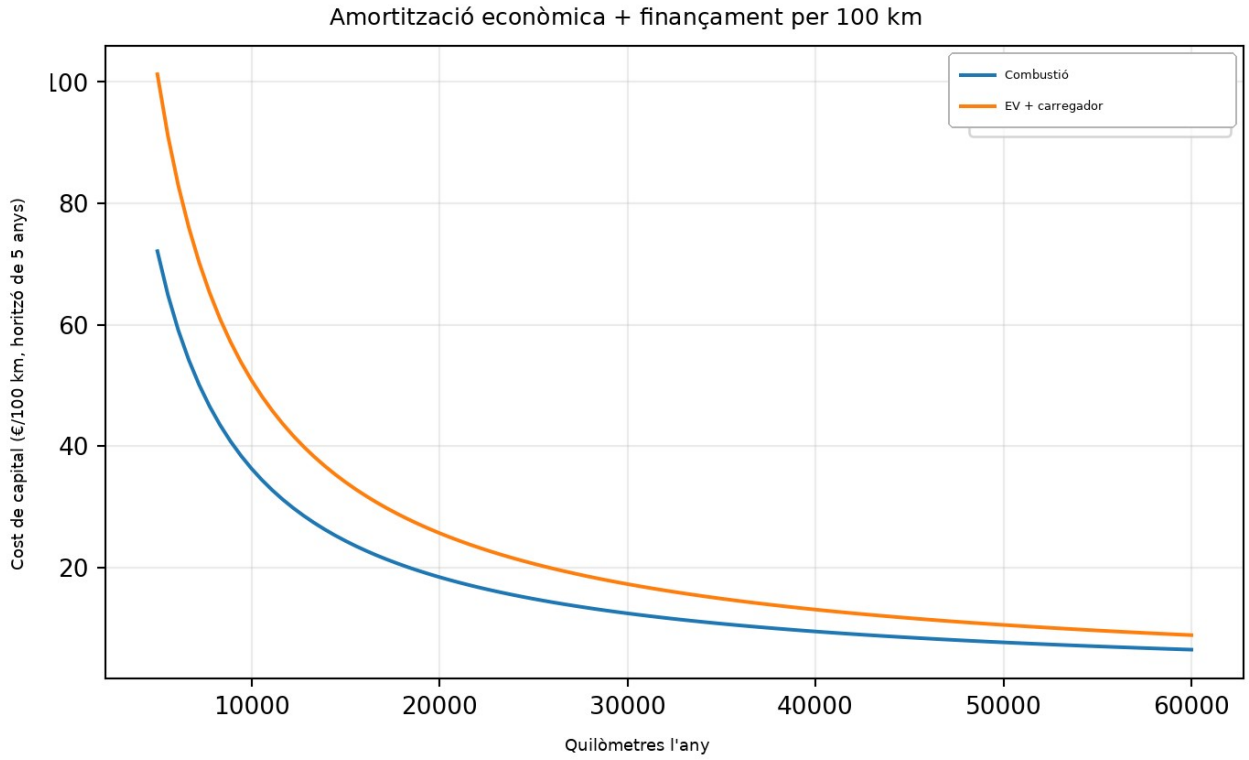

Figura 16. Amortització econòmica + finançament per 100 km a cinc anys.

LECTURA RÀPIDA
• Amb pocs quilòmetres, la pèrdua de valor per calendari i el cost financer es reparteixen entre poca distància i pesen molt per 100 km.
• Quan augmenta l'ús, el component fix de capital es dilueix, encara que el desgast per quilometratge i cicles creix.
• Aquesta figura formalitza la intuïció que el cost mitjà per km depèn del quilometratge anual fins i tot quan el cost marginal d'energia no canvia.

15. Segmentació econòmica

Perfil	Lectura del model
Particular urbà amb garatge	Càrrega barata i temps efectiu gairebé nul; amb baix quilometratge pesen depreciació i capital.
Particular sense garatge	Més sensible al preu públic, temps d'espera i càrrega ràpida; la frontera pot afavorir l'ICE.
Comercial / autònom 50.000 km/any	L'estalvi energètic es multiplica i el capital fix es dilueix; cal vigilar la disponibilitat de càrrega.

Taxi / VTC / repartiment	Molt sensible al temps improductiu, potència de càrrega, bateria i valor de l'hora.
Viatges llargs freqüents	La potència de càrrega i el cost d'oportunitat del temps poden dominar sobre el manteniment.
Compra d'EV usat	El SOH certificat i el valor residual són especialment rellevants; odòmetre i edat no són suficients per si sols.

16. Sensibilitat: què mou l'encreuament

Variable que augmenta	Efecte típic sobre l'EV	Moviment de l'encreuament
Preu del combustible	Millora l'estalvi operatiu de l'EV	Abans / menys km
Electricitat domèstica	Redueix l'estalvi de l'EV	Després / més km
Càrrega pública ràpida	Eleva energia, temps i possible degradació	Després
Quilometratge anual	Dilueix capital fix i multiplica l'estalvi energètic	Abans
Preu inicial EV	Augmenta depreciació i finançament	Després
Cost de capital	Penalitza el major capital immobilitzat	Després
Depreciació temporal EV	Redueix el valor residual	Després
Vida per cicles / SOH millor	Millora el valor residual de la bateria	Abans
Valor del temps	Penalitza el mode amb més temps efectiu	Depèn del patró
Cost extraordinari EV net d'ICE	Eleva el TCO esperat de l'EV	Després

17. Com aplicar el model a dos cotxes reals

1. Introduir preus nets reals, inclosos carregador, instal·lació, ajuts i condicions de finançament.

2. Mesurar el consum real de tots dos vehicles i els preus efectius de l'energia per canal.

3. Fixar km/any, horitzó de tinença i percentatge de càrrega domèstica, laboral, lenta i ràpida.

4. Obtenir el pla real de manteniment i pneumàtics; separar costos anuals, per km i per esdeveniments.

5. Estimar el valor del temps. Mantenir 15 €/h com a base si no hi ha una estimació millor i analitzar-ne la sensibilitat.

6. Estimar el valor residual per edat i quilometratge. Per a un EV usat o amb horitzó llarg, incorporar el SOH de bateria si hi ha un diagnòstic fiable.

7. Calibrar α i β amb dades de segona mà del model concret; no utilitzar de manera dogmàtica els paràmetres il·lustratius.

8. Per a la bateria, convertir quilòmetres a EFC segons capacitat útil i consum; escollir N80 segons química/model quan hi hagi informació fiable.

9. Aplicar r = 5 % com a base o substituir-lo per TAE/cost d'oportunitat pertinent.

10. Afegir costos extraordinaris com a valor esperat, no com a substitucions segures, i fer-ho simètricament per a EV i ICE.

11. Calcular el payback de caixa i el TCO econòmic per separat; tots dos responen a preguntes diferents.

12. Repetir els llindars a 3, 5, 8 i 10 anys i construir la frontera km/any × accés a càrrega × valor del temps.

18. Conclusions

La comparació entre cotxe elèctric i cotxe de combustió s'ha d'entendre com un problema de cost de servei d'un actiu, no com una simple suma del preu de compra i el combustible. El vehicle perd valor tant pel pas del temps com per l'ús; a més, el capital immobilitzat té un cost d'oportunitat. Aquests dos elements poden canviar de manera material el punt d'equilibri, especialment en usuaris de baix quilometratge.

En l'ICE, el desgast per ús es modelitza per quilometratge perquè no existeix una mètrica universal de cicles equivalent a la bateria. En l'EV, la bateria permet descompondre el deteriorament entre envelliment de calendari i EFC, però el 70-80 % de SOH no s'ha de confondre amb avaria o reemplaçament obligatori. El cost econòmic d'aquesta degradació apareix primer com a menor capacitat i menor valor residual; una substitució només s'ha d'afegir com a risc extraordinari esperat si és plausible dins de l'horitzó.

Amb l'escenari base d'aquest informe -5 % de cost de capital i 15 €/h de valor del temps-, l'avantatge de l'EV es concentra especialment en usos intensius i càrrega domèstica/laboral barata. La mateixa tecnologia pot ser clarament preferible per a 50.000 km/any i no superar l'ICE per a un ús baix

dependent de càrrega pública. Per tant, el resultat rellevant no és un únic «any de paritat» ni un únic «quilometratge d'amortització», sinó una frontera multidimensional de substitució econòmica.

19. Fonts i referències

[1] U.S. Department of Energy (2021), Battery-Electric Vehicles Have Lower Scheduled Maintenance Costs than Other Light-Duty Vehicles. https://www.energy.gov/cmei/vehicles/articles/fotw-1190-june-14-2021-battery-electric-vehicles-have-lower-scheduled

[2] RACE (26/05/2026), Mantenimiento de un coche eléctrico para que te dure más. https://www.race.es/mantenimiento-coche-electrico

[3] Geotab (2026), Estat de les bateries de vehicles elèctrics / anàlisi de més de 22.700 vehicles. https://www.geotab.com/es/blog/el-estado-de-las-baterias-de-los-vehiculos-electricos/

[4] Tesla Espanya, Garantia del vehicle: bateria i unitat de tracció, 70 % mínim de conservació segons versió. https://www.tesla.com/es_es/support/vehicle-warranty

[5] Reglament (UE) 2024/1257, annex II, requisits mínims Euro 7 de durabilitat de bateries. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1257/oj/spa

[6] Ioakimidis et al. (2019), Life Cycle Assessment of a Lithium Iron Phosphate (LFP) Electric Vehicle Battery in Second Life Application Scenarios, Sustainability 11(9), 2527. https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2527

[7] International Energy Agency (2026), Global EV Outlook 2026 - Trends in electric cars, secció sobre mercat de segona mà i retenció de valor. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2026/trends-in-electric-cars

[8] Arval (2026), Electric vehicle batteries: longevity beyond expectations, anàlisi de certificats SOH. https://www.arval.com/electric-vehicle-batteries-arval-confirms-longevity-beyond-expectations

[9] European Commission, Weekly Oil Bulletin. https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/weekly-oil-bulletin_en

[10] European Alternative Fuels Observatory, preus de recàrrega de vehicles elèctrics i eines de TCO. https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/markets-and-policy/market-and-consumer-insights/electric-vehicle-recharging-prices

NOTA METODOLÒGICA FINAL
• Les fonts externes justifiquen mecanismes, llindars regulatoris i ordres de magnitud. Els preus, α, β, φ_B, N80 i altres paràmetres numèrics de l'escenari són modificables i no es presenten com una mitjana oficial universal.
• El calibratge correcte per a una decisió real consisteix a substituir els paràmetres d'escenari per dades del model, ús i mercat de segona mà concrets.